

PCT/JP 98/03336

14.10.98

09/463643

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 30 OCT 1998

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1997年 9月 1日

出 願 番 号

Application Number:

平成 9年特許願第235524号

出 願 人

Applicant(s):

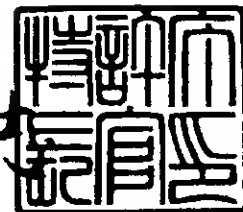
日亜化学工業株式会社

PRIORITY DOCUMENT

1998年 9月18日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

伴 佐 山 建 志



出 証 書 号 出 証 特 平 10-3075871

【書類名】 特許願
 【整理番号】 P97SR31
 【提出日】 平成 9年 9月 1日
 【あて先】 特許庁長官 荒井 寿光 殿
 【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明の名称】 窒化物半導体素子
 【請求項の数】 5
 【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡 4 9 1 番地 1 0 0 日亜化学工業
 株式会社内

【氏名】 中村 修二

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡 4 9 1 番地 1 0 0 日亜化学工業
 株式会社内

【氏名】 向井 孝志

【特許出願人】

【識別番号】 000226057

【氏名又は名称】 日亜化学工業株式会社

【代表者】 小川 英治

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010526

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と活性層との間に、基板側から順に、アンドープ若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない第1の窒化物半導体層と、n型不純物を含み超格子構造よりなるn導電型の第2の窒化物半導体層と、アンドープ若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない第3の窒化物半導体層を有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記第2の窒化物半導体層は、互いにバンドギャップエネルギーが異なる少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなるか、若しくは同一組成の窒化物半導体層が積層されてなり、n型不純物がそれら窒化物半導体層間で異なる濃度でドーピングされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記第2の窒化物半導体層は、互いにバンドギャップエネルギーの異なる2種類の層が積層されてなり、n型不純物はバンドギャップエネルギーが大きい方の層に多くドーピングされていることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記バンドギャップの大きい方の層にドーピングされたn型不純物は、厚さ方向に対し中心部近傍のn型不純物濃度が両端部近傍のn型不純物濃度よりも大きいことを特徴とする請求項3に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記第3の窒化物半導体層がアンドープであり、該膜厚が0.1 μm 以下であることを特徴とする請求項1乃至4の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバ

イスに用いられる窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) よりなる素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

窒化物半導体は高輝度純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaN、あるいはInGaNを有する多重量子井戸構造の活性層と、MgドープAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

【0003】

また、本出願人はこの材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した(例えば、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L74、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L217等)。このレーザ素子は、InGaNを用いた多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2μs、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm²、410nmの発振を示す。また、本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。(例えば、日経エレクトロニクス1996年12月2日号 技術速報、Appl.Phys.Lett.69(1996)3034-、Appl.Phys.Lett.69(1996)4056-等)、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6kA/cm²、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

このように窒化物半導体はLEDで既に実用化され、LDでは数十時間ながら連続発振にまで至っているが、LEDを例えば照明用光源、直射日光の当たる屋

外ディスプレイ等にするためにはさらに出力の向上が求められている。またLDでは閾値を低下させて長寿命にし、光ピックアップ、DVD等の光源に実用化するためには、よりいっそうの改良が必要である。また前記LED素子は20mAにおいてVfが3.6V近くある。Vfをさらに下げることにより、素子の発熱量が少なくなって、信頼性が向上する。またレーザ素子では閾値における電圧を低下させることは、素子の寿命を向上させる上で非常に重要である。本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであって、その目的とするところは、主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、Vf、閾値電圧を低下させて素子の信頼性を向上させることにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

本発明の窒化物半導体素子は、基板側から順に、アンドープ若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない第1の窒化物半導体層と、n型不純物を含み超格子構造よりなるn導電型の第2の窒化物半導体層と、アンドープ若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない第3の窒化物半導体層を有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする。なお超格子構造とは膜厚100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下の窒化物半導体層を多層膜構造に積層した構造を指すものとする。またアンドープ(undoped)の窒化物半導体層とは意図的に不純物をドーピングしない窒化物半導体層を指し、例えば、原料に含まれる不純物の混入、反応装置内のコンタミネーションによる不純物の混入、および意図的に不純物をドーピングした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層も本発明ではアンドープと定義する(実質的なアンドープ)。

【0006】

また本発明の窒化物半導体素子では、基板と前記第1の窒化物半導体層との間に、第1の窒化物半導体層よりも低温で成長されるバッファ層を有していても良い。バッファ層は例えばAlN、GaN、AlGaN等を400℃～900℃において、0.5μm以下の膜厚で成長させることができ、基板と窒化物半導体と

の格子不整合を緩和、あるいは第1の窒化物半導体層を結晶性よく成長させるための下地層として作用する。

【0007】

第2の窒化物半導体層は、互いにバンドギャップエネルギーが異なる少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなるか、若しくは同一組成の窒化物半導体層が積層されてなり、n型不純物がそれら窒化物半導体層間で異なる濃度でドーピングされていることを特徴とする。以下、超格子層を構成する窒化物半導体層の互いの不純物濃度が異なることを変調ドーピングという。この場合、一方の層は不純物をドーピングしない状態、つまりアンドーピングが好ましい。

【0008】

好ましくは第2の窒化物半導体層は、互いにバンドギャップエネルギーの異なる2種類の層が積層されてなり、n型不純物はバンドギャップエネルギーが大きい方の層に多くドーピングされていることを特徴とする。

【0009】

さらに好ましくは、前記バンドギャップの大きい方の層にドーピングされたn型不純物は、厚さ方向に対し中心部近傍のn型不純物濃度が両端部近傍のn型不純物濃度よりも大きいことを特徴とする。例えばバンドギャップエネルギーの大きいA層（n型不純物ドーピング）と小さいB層（アンドーピング）とが積層されてなる超格子層の場合、A層の中心部にはn型不純物が多くドーピングされており、A層の中心部から離れた両端部近傍にはn型不純物が少なくドーピングされているか、アンドーピングである状態を指す。

【0010】

さらにまた、本発明の窒化物半導体素子では、第3の窒化物半導体層がアンドーピングであり、その膜厚が0.1 μm 以下であることを特徴とする。第3の窒化物半導体層の好ましい膜厚は500オングストローム、さらに好ましくは200オングストローム以下に調整する。下限は特に限定しないが10オングストローム以上に調整することが望ましい。第3の窒化物半導体層が超格子構造でないアンドーピング単層である場合、抵抗率が通常 $1 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上と高いため、この層を0.1 μm よりも厚い膜厚で成長させると、逆にVfが低下しにくい傾向にあ

る。また、この第3の窒化物半導体層をアンドープとすると窒化物半導体層の結晶性が良くなるために、その上部に成長させる活性層の結晶性も良くなり、出力が向上する。

【0011】

【発明の実施の形態】

本発明の発光素子では活性層と基板との間に少なくとも3層構造を有する窒化物半導体層を有している。まず第1の窒化物半導体層はn型不純物を含む第2の窒化物半導体層を結晶性よく成長させるためにアンドープ、若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少なくしている。この第1の窒化物半導体層はアンドープが最も好ましいが、第2の窒化物半導体層が超格子構造であるために、n型不純物を第2の窒化物半導体層よりも少なくドープしても良い。n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。

【0012】

次に第2の窒化物半導体層はn型不純物を含む超格子構造のn型窒化物半導体としていて。超格子構造とすると、その超格子層を構成する窒化物半導体層の各膜厚が弾性臨界膜厚以下となるために、結晶欠陥の非常に少ない窒化物半導体が成長できる。さらに、この超格子層で基板から第1の窒化物半導体層を通して発生している結晶欠陥をある程度止めることができるため、超格子層の上に成長させる第3の窒化物半導体層の結晶性を良くすることができる。さらに特筆すべき作用としてはHEMTに類似した効果がある。例えばn型不純物としてSiをドープしたAlGa_Nと、アンドープのGa_N層との超格子層で第2の窒化物半導体層を形成した場合、AlGa_NはSiをドープしているのでドナーとして電子を伝導帯に出すが、電子はポテンシャルの低いGa_Nの伝導帯に落ちる。Ga_N結晶中にはドナー不純物をドープしていないので、不純物によるキャリアの散乱を受けない。そのため電子は容易にGa_N結晶中を動くことができ、実質的な電子の移動度が高くなる。これは二次元電子ガスの効果と類似しており、電子横方向の実質的な移動度が高くなり、抵抗率が小さくなる。さらに、抵抗率が下がることにより、電極とのオーミックが得やすくなり、かつ膜中のシリーズ抵抗も小

さくなるので、閾値電圧、 V_f の低い窒化物半導体素子を得られる。なお、第2の窒化物半導体層全体としての抵抗率は $9 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下となる。

【0013】

さらに、バンドギャップエネルギーの大きいAlGaInNの中心領域にn型不純物をドーピングすると効果はさらに大きくなる。即ちGaInN中を移動する電子によっては、AlGaInN中に含まれるn型不純物イオン（この場合Si）の散乱を多少とも受ける。しかしAlGaInN層の厚さ方向に対して両端部をアンドープとするとSiの散乱を受けにくくなるので、さらにアンドープGaInN層の移動度が向上する。

【0014】

また本発明の素子では第3の窒化物半導体層もアンドープ、若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない層とする。この層のn型不純物濃度を少なくするのは、超格子層の最上層の上に直接不純物を多く含む第3の窒化物半導体層を成長させると、その層の結晶性が悪くなる傾向があるので、第3の窒化物半導体層を結晶性良く成長させるためにn型不純物濃度を少なくし、最も好ましくはアンドープとする。第3の窒化物半導体層の組成は特に問うものではないが、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)、好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 0.5$)を成長させることにより、第3の窒化物半導体の上に成長させる層のバッファ層として作用して、第3の窒化物半導体層から上の層を成長させやすくする。さらにアンドープ単層のような抵抗率の比較的高い層を活性層と第2の窒化物半導体層との間に介在させることにより、素子のリーク電流を防止し、逆方向の耐圧を高くすることができる。

【0015】

【実施例】

【実施例1】

図1は本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下この図を元に、本発明の素子の製造方法について述べる。

【0016】

サファイア（C面）よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で

十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイアC面その他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル (MgAl_2O_4) のような絶縁性の基板の他、 SiC (6H、4H、3Cを含む)、 Si 、 ZnO 、 GaAs 、 GaN 等の半導体基板を用いることができる。

【0017】

(バッファ層2)

続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG (トリメチルガリウム) とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0018】

(第1の窒化物半導体層3)

バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNよりなる第1の窒化物半導体層3を5μmの膜厚で成長させる。第1の窒化物半導体層はバッファ層よりも高温、例えば900℃～1100℃で成長させ、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、 x 値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。また膜厚は特に問うものではなく、バッファ層よりも厚膜で成長させ、通常0.1μm以上の膜厚で成長させる。この層はアンドープ層としたため真性半導体に近く、抵抗率は $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ よりも大きいが、 Si 、 Ge 等のn型不純物を第2の窒化物半導体層よりも少なくドーピングして抵抗率を低下させた層としても良い。

【0019】

(第2の窒化物半導体層4)

続いて1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を20オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にて、TMAを追加しアンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を5オングストローム成長させ、続いてシランガスを追加し Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングした $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を10オングス

トロームの膜厚で成長させ、そしてSiを止めてアンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を50オングストロームの膜厚で成長させる。このようにして、20オングストロームのアンドープ GaN 層からなるA層と、両端にアンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を50オングストロームずつ有し、中央部にSiドーパ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層を有する20オングストロームのB層とからなるペアを成長させる。そしてペアを250層積層して1 μm 厚として、超格子構造よりなる第2の窒化物半導体層4を成長させる。

【0020】

(第3の窒化物半導体層5)

次にシランガスのみを止め、1050℃で同様にしてアンドープ GaN よりなる第3の窒化物半導体層5を100オングストロームの膜厚で成長させる。この第3の窒化物半導体層5も $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$)で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくは GaN 、 x 値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、または y 値が0.1以下の $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。 InGaN を成長させると、その上にAlを含む窒化物半導体を成長させる場合に、Alを含む窒化物半導体層にクラックが入るのを防止することができる。

【0021】

(活性層6)

次に、温度を800℃にして、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を30オングストロームの膜厚で成長させて単一量子井戸構造を有する活性層6を成長させる。なおこの層は InGaN よりなる井戸層を有する多重量子井戸構造としても良い。

【0022】

(p側クラッド層7)

次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーパしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp側クラッド層7を0.1 μm の膜厚で成長さ

せる。この層はキャリア閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくは $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < y < 1$) を成長させることが望ましく、結晶性の良い層を成長させるためには y 値が0.3以下の $Al_yGa_{1-y}N$ 層を $0.5\mu m$ 以下の膜厚で成長させることが望ましい。

【0023】

(p側コンタクト層8)

続いて $1050^{\circ}C$ で、TMG、アンモニア、 Cp_2Mg を用い、 Mg を $1 \times 10^{20}/cm^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層8を $0.1\mu m$ の膜厚で成長させる。p側コンタクト層8も $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaNとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすく、またp電極材料と好ましいオーミック接触が得られやすい。

【0024】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 $700^{\circ}C$ でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0025】

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE (反応性イオンエッチング) 装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すように第2の窒化物半導体層4の表面を露出させる。

【0026】

エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極9と、そのp電極9の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10を $0.5\mu m$ の膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させた第2の窒化物半導体層4の表面にはWとAlを含むn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護するために SiO_2 よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライプにより分離して $350\mu m$ 角のLED素子とする。

【0027】

このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層と、MgドープAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された従来の緑色発光LEDに比較して、20mAにおけるV_fを0.2~0.4V低下させ、出力を40%~50%向上させることができた。また、静電耐圧も従来のLED素子に比較して5倍以上であった。

【0028】

〔実施例2〕

実施例1において第1の窒化物半導体層3を成長させる際に、Siを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNを3 μm の膜厚で成長させ、さらに第3の窒化物半導体層5を成長させる際にSiを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNとする他は実施例1と同様にしてLED素子を作製したところ、実施例1のものに比較して出力でおよそ10%程低下したが、V_f、静電耐圧はほぼ同一の特性を有するLEDが得られた。

【0029】

〔実施例3〕

実施例1において第2の窒化物半導体層4を成長させる際に、アンドープGaN層よりなるA層を40オングストロームと、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 均一にドープしたAl_{0.1}Ga_{0.9}N層B層を60オングストロームとを300層ずつ交互に積層して、総膜厚3 μm の超格子構造とする他は同様にしてLED素子を得たところ、実施例2とほぼ同等の特性を有するLED素子が得られた。

【0030】

〔実施例4〕

図2は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、レーザの共振面に平行な方向で素子を切断した際の図を示している。以下、この図を元に実施例4について説明する。

【0031】

実施例1と同様にして、サファイア(C面)よりなる基板20の上に、200

オングストロームのGa_{0.9}Nよりなるバッファ層21、5 μ mのアンドープGa_{0.9}Nよりなる第1の窒化物半導体層22、20オングストロームのアンドープGa_{0.9}N層A層と、両端部近傍（5オングストローム）がアンドープ、中央部（10オングストローム）がSiドープのAl_{0.1}Ga_{0.9}NよりなるB層とが積層されて総膜厚3 μ mの超格子構造よりなる第2の窒化物半導体層23（第2の窒化物半導体層4の構成は実施例1と同一である。）を成長させる。

【0032】

なお、サファイア基板の他、基板にはサファイアのような窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に第1のGa_{0.9}N層を成長させ、その第1のGa_{0.9}N層の上に、SiO₂等、窒化物半導体が表面に成長しにくい保護膜を部分的に形成し、さらにその保護膜を介して、前記第1のGa_{0.9}N層の上に第2のGa_{0.9}Nを成長させて、SiO₂の上に第2のGa_{0.9}N層を横方向に成長させて、横方向で第2のGa_{0.9}N層が繋がって第2のGa_{0.9}N層を基板とした窒化物半導体基板を用いることが窒化物半導体の結晶性を良くする上で非常に好ましい。この窒化物半導体基板を基板とする場合にはバッファ層を特に成長させる必要はない。

【0033】

（第3の窒化物半導体層24）

次に温度を800℃にしてTMI、TMG、アンモニアを用いアンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる第3の窒化物半導体層を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0034】

（n側クラッド層25）

次に、1050℃にして、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層、20オングストロームと、アンドープ（undoped）Ga_{0.9}N層、20オングストロームとを交互に200層積層してなる総膜厚0.8 μ mの超格子構造とする。n側クラッド層254はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa_{0.9}Nを含む超格子層とすることが望ましく、超格子層全体の膜厚を100オングストローム以上、2 μ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、2 μ m以下で成長させること

が望ましい。さらにまた、このn側クラッド層の中央部の不純物濃度を大きくして、両端部の不純物濃度を小さくすることもできる。

【0035】

(n側光ガイド層26)

続いて、Siを $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側光ガイド層26を0.1 μm の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層26は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5 μm 、さらに好ましくは200オングストローム～1 μm の膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層5は通常はSi、Ge等のn型不純物をドープしてn型の導電型とするが、特にアンドープにすることもできる。

【0036】

(活性層27)

次に、800℃で、アンドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる井戸層、25オングストロームと、アンドープ $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる障壁層、50オングストロームを交互に積層してなる総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層27を成長させる。

【0037】

(p側キャップ層28)

次に、1050℃でバンドギャップエネルギーがp側光ガイド層8よりも大きく、かつ活性層6よりも大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなるp側キャップ層28を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層28はp型不純物をドープした層としたが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型、若しくはアンドープとしても良く、最も好ましくはp型不純物をドープした層とする。p側キャップ層28の膜厚は0.1 μm 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1 μm より厚い膜厚で成長させると、p型キャップ層28中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。Alの組成比が大きい

A_{1-y}G_yN程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、y値が0.2以上のA_{1-y}G_yNであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層76の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0038】

(p側光ガイド層29)

次に、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層28より小さい、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側光ガイド層29を0.1μmの膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層26と同じくGaN、InGaNで成長させることが望ましい。また、この層はp側クラッド層30を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム~5μm、さらに好ましくは200オングストローム~1μmの膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドープしてp型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。

【0039】

(p側クラッド層30)

次に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型A_{1-0.2}G_{0.2}N層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaN層、20オングストロームとを交互に積層してなる総膜厚0.8μmの超格子層よりなるp側クラッド層30を成長させる。この層はn側クラッド層25と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、超格子構造とすることによりp型層側の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層30の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1μm以下で成長させることが望ましい。このp側クラッド層の中央部の不純物濃度を大きくして、両端部の不純物濃度を小さくすることもできる。

【0040】

(p側コンタクト層31)

最後に、 Mg を $2 \times 10^{20}/cm^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層10を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層は500オングストローム以下、さらに好ましくは400オングストローム以下、20オングストローム以上に膜厚を調整すると、p層抵抗が小さくなるため閾値における電圧を低下させる上で有利である。

【0041】

反応終了後、反応容器内において、ウェーハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層31と、p側クラッド層30とをエッチングして、4 μm のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0042】

リッジ形成後、図2に示すように、リッジストライプを中心として、そのリッジストライプの両側に露出したp側クラッド層30をエッチングして、n電極11を形成する第2の窒化物半導体層23の表面を露出させる、なお露出面は不純物濃度の大きい超格子層とする。

【0043】

次にリッジ表面の全面にNi/Auよりなるp電極32を形成する。次に、図2に示すようにp電極32を除くp側クラッド層30、p側コンタクト層31の表面にSiO₂よりなる絶縁膜35を形成し、この絶縁膜35を介してp電極32と電氣的に接続したpパッド電極33を形成する。一方先ほど露出させたn側コンタクト層4の表面にはWとAlよりなるn電極34を形成する。

【0044】

電極形成後、ウェーハのサファイア基板の裏面を研磨して50 μm 程度の厚さにした後、サファイアのM面でウェーハを劈開して、その劈開面を共振面としたバーを作製する。一方、ストライプ状の電極と平行な位置でバーをスクライブで分離してレーザ素子を作製する。そのレーザ素子形状が図2である。なおこのレーザ素子を室温でレーザ発振させたところ、従来の37時間連続発振した窒化物半導体レーザ素子に比較して、閾値電流密度は2.0kA/cm²近くにまで低下

し、閾値電圧も4 V近くになり、寿命は500時間以上に向上した。

【0045】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の窒化物半導体素子では、アンドープ若しくは不純物濃度の小さい第1の窒化物半導体層と、不純物濃度の大きい超格子層よりなる第2の窒化物半導体層と、アンドープ若しくは不純物濃度の小さい第3の窒化物半導体層とを積層していることにより、V_fの低いLED、低閾値のレーザ素子が得られる。しかも第2の窒化物半導体層の抵抗率が小さいため、n電極と第2の窒化物半導体層とで、容易にオーミック接触が得られ、V_f等が低下する。また本明細書ではLED、レーザ素子について説明したが、本発明は受光素子、太陽電池の他、窒化物半導体の出力を用いたパワーデバイス等、窒化物半導体を用いたあらゆる素子に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

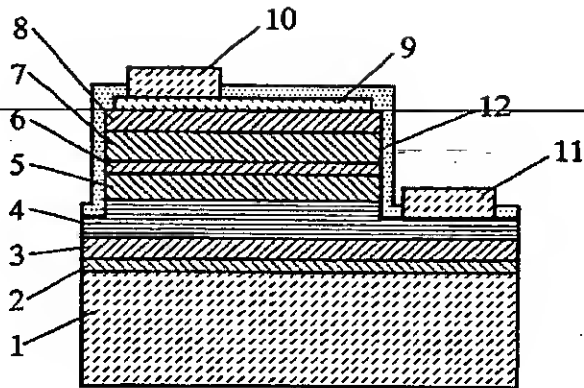
【図2】 本発明の他の実施例に係るLD素子の構造を示す模式断面図。

【符号の説明】

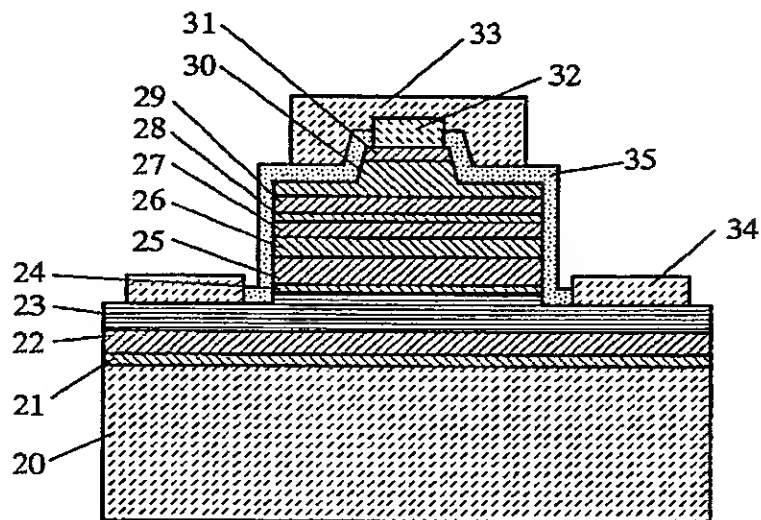
- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3、22・・・第1の窒化物半導体層
- 4、23・・・第2の窒化物半導体層
- 5、24・・・第3の窒化物半導体層
- 6・・・活性層
- 7・・・p側クラッド層
- 8・・・p側コンタクト層
- 9・・・透光性p電極
- 10・・・pパッド電極
- 11・・・n電極
- 12・・・絶縁膜

【書類名】 図面

【図1】



【図2】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、 V_f 、閾値電圧を低下させて素子の信頼性を向上させる。

【構成】 基板と活性層との間に、基板側から順に、アンドープ若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない第1の窒化物半導体層と、n型不純物を含み超格子構造よりなるn導電型の第2の窒化物半導体層と、アンドープ若しくはn型不純物濃度が第2の窒化物半導体層よりも少ない第3の窒化物半導体層を有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されている。第2の窒化物半導体層はHEMTに類似した構造となり、高移動度、低抵抗率となるため、電極との接触抵抗が低くなって素子の V_f 、閾値が低下する。

【選択図】 図1

特平 9-235524

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】 申請人

【識別番号】 000226057

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100

【氏名又は名称】 日亜化学工業株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 {000226057}

1. 変更年月日 1990年 8月18日

【変更理由】 新規登録

住 所 徳島県阿南市上中町岡491番地100

氏 名 日亜化学工業株式会社

THIS PAGE BLANK (USPTO)